Aus der Prothetischen Abteilung
(Leiter: Professor Dr. med. dent. Hermann Kirsten)
der Poliklinik und Klinik für Zahn-, Mund- und
Kieferkrankheiten der Freien Universität Berlin
Direktor: Professor Dr. med., Dr. med. dent. E. Harndt

Messmikroskopische Untersuchungen über die Beeinflussung der linearen Dimension von Brücken durch den Lötprozess

INAUGURAL-DISSERTATION
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
an der
Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Peter Jacob
aus Berlin

1962

Aus der Prothetischen Abteilung
(Leiter: Professor Dr. med. dent. Hermann Kirsten)
der Poliklinik und Klinik für Zahn-, Mund- und
Kieferkrankheiten der Freien Universität Berlin
Direktor: Professor Dr. med., Dr. med. dent. Ewald Harndt

MESSMIKROSKOPISCHE UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE BEEINFLUSSUNG DER LINEAREN DIMENSION VON BRÜCKEN DURCH DEN LÖTPROZESS

INAUGURAL - DISSERTATION
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
an der
Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Peter Jacob
aus Berlin

Dekan:	Professor Dr. med. B. Schmidt
Referent:	Professor Dr. med. dent. H. Kirsten
Korreferent:	Priv. Doz. Dr. med. dent. W. Hielscher

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin.

Promoviert am: 14. 12. 1962

INHALTSÜBERSICHT

		Seite
	Einleitung	5
1.	Verschiedene Verbindungsmöglichkeiten zwischen Metallen	6
2.	Lote und Lötverfahren	7
3.	Einbettungsmassen	12
4.	Untersuchungs - Schema	15
5.	Separate Untersuchung des thermischen Verhaltens des verwendeten Einbettungsmasse-Materials	16
6.	Auswahl der Brückenformen	21
7.	Herstellung der Brückenteile	22
8.	Meßverfahren und Lötvorgang	26
9.	Ergebnisse und Auswertung der Messungen	31
10.	Diskussion	41
11.	Zusammenfassung	46
	Literaturverzeichnis	49

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546822_0045

Einleitung

In der prothetischen Versorgung des Lückengebisses müssen wir zwischen dem herausnehmbaren und dem festsitzenden Zahnersatz unterscheiden.

Bei der Wiederherstellung der Kaufunktion durch Brücken unterliegen alle an der Herstellung dieser festsitzenden Zahnersatzarbeiten beteiligten Werkstoffe - mit ihrem kontrahierenden und expandierenden Verhalten - eigenen Gesetzen. Die richtige Auswahl und Anwendung, Verarbeitung und Kombination der Werkstoffe muß letztlich eine ideale Relation zwischen Ersatzstück und natürlichem Gebiß gewährleisten.

Von zahlreichen bedeutenden Autoren wurden aufschlußreiche Untersuchungen über Guß- und Lötvorgänge bei Gold- und Silber-Palladium Legierungen durchgeführt. Alle derartigen Untersuchungen vermitteln uns ein genaues Bild über das grundsätzliche Verhalten der Edelmetalle.

In der vorliegenden Arbeit soll nun durch meßmikroskopische Untersuchungen an verschiedenartigen, stilisierten Brücken festgestellt werden, ob der Lötprozeß bei einer für prothetische Zwecke angefertigten Edelmetallbrücke lineare Veränderungen bewirken kann.

1. Verschiedenartige Verbindungsmöglichkeiten zwischen Metallen

Es gibt nach UHLIG (32) drei verschiedene Möglichkeiten, metallische Formteile miteinander zu verbinden:

1. die mechanische Verkoppelung
2. das Schweißen
3. das Löten.

Die mechanische Verkoppelung geschieht z. B. mittels Gewindeschrauben oder Nieten. Sie findet Anwendung bei geteilten Brücken, abnehmbaren Transversalbügeln und kieferorthopädischen Geräten.

Weitaus gebräuchlicher in der Technik sind die beiden anderen unter 2. und 3. genannten Verfahren zur Vereinigung verschiedener Metallteile. Nach der Definition des VDI (33) versteht man unter Schweißen: "Eine Vereinigung metallischer Werkteile gleichen oder ähnlichen Werkstoffes unter Zuführung von Wärme derart, daß die Verbindungsstelle mit den anschließenden Teilen ein möglichst gleichmäßiges Ganzes bildet."

Man unterscheidet: 1. die Preß- oder Druckschweißung, zu welcher die elektrische Widerstandsschweißung (Punktschweißung) gehört und 2. die Schmelzschweißung.

Von diesen Schweißverfahren kommt für zahnärztliche Zwecke fast ausschließlich die elektrische Widerstandsschweißung (Punktschweißung) in Anwendung.

Bei der Punktschweißung geschieht die Erweichung der Werkstoffe nach dem Widerstandsprinzip mit Hilfe transformierten elektrischen Stromes, d. h. durch Kupfer- oder Wolfram-Elektroden wirkt eine große Stromstärke bei geringer Spannung auf kleine punktförmige Flächen.

Werden artgleiche oder verwandte Legierungen mittels einer ähnlichen Metallegierung niedrigeren Schmelzintervalles zusammengefügt, so be-

zeichnet man diesen Vorgang als Löten. Diese dritte Möglichkeit ist die zuverlässigste Art der Verbindung zweier Edelmetallegierungen. Sie wird bei der technischen Herstellung zahnärztlicher Kronen- und Brükkenarbeiten vorzugsweise angewendet.

2. Lote und Lötverfahren

Die Deutsche Gesellschaft für Metallkunde hat den Begriff des Lötens festgelegt als "das Verbinden oder Ergänzen erhitzter in festem Zustand bleibender Metalle oder Legierungen durch schmelzende metallische Bindemittel, die man Lote nennt". ((8) (30))

Die Lötung als solche hängt sowohl von äußeren wie inneren Faktoren ab. Als äußere Faktoren können wohl alle die Regeln zusammengefaßt werden, die im gebräuchlichen Sinn als wichtig für die Technik des Lötvorganges selbst angesehen werden. Sie beziehen sich auf:

1. völlige Reinheit der Metalloberflächen der zu verbindenden Werkteile
2. möglichst innige Berührung der miteinander zu verlötenden Flächen
3. langsames und gleichmäßiges Erhitzen der Werkteile
4. Vermeidung jeglicher Oxyd- und Sulfidbildung an den blanken Oberflächen
5. Auflegen der Lotlegierung in kleinsten Teilchen
6. Löten mit nichtoxydierender Gasflamme

Diese äußeren Faktoren sind grundsätzlich als verbindlich für alle Lötvorgänge der verschiedensten metallischen Werkstoffe anzusehen.

Die eben erläuterten Bedingungen treten aber in ihrer Bedeutung hinter den eigentlichen metallurgischen, physikalischen und chemisch-physikalischen Vorgängen der zu bearbeitenden Legierungen, also Grundlegierung und Lot, zurück. Für eine metallurgisch einwandfreie Verbindung zwischen Grundlegierung und Lot muß zwischen beiden Werkstoffen eine innere Verwandschaft bestehen.

Empirisch sind diese inneren metallurgischen Zusammenhänge durch folgende Forderungen, wie sie SCHOENBECK systematisch wiedergibt, verdeutlicht worden. Ein gutes Lot soll nach ihm folgende Eigenschaften haben:

1. Große Diffusionskraft, damit das Lot tief in die zu lötende Legierung eindringen und Mischkristalle mit ihr bilden kann, um so das Höchstmaß an Festigkeit zu erreichen.
2. Die Zusammensetzung der Hauptkomponenten des Lotes muß gleich der, der zu lötenden Werkstücke sein.
3. Die Karatzahl der Grundlegierungen und der Lote muß gleich sein, um einer Elementbildung vorzubeugen.
4. Das Lot soll mit der Grundlegierung farbgleich sein.
5. Das Lot muß dehnbar, zerreißfest und trotzdem genügend hart sein.
6. Die Arbeitstemperatur des Lotes soll um mindestens 200 Grad tiefer liegen als die Soliduspunkte der Schmelzintervalle der zu verbindenden Metallteile. (24)

Diese innere Verwandschaft zwischen Grundlegierung und Lot, die in einschlägigen Lehrbüchern auch mit Artgleichheit bezeichnet wird, ist in der Erscheinung gleicher oder wenigstens zusammengehörender Kristallisationssysteme begründet.

Gehören die Atomgitterverbände beider Legierungen grundverschiedenen Kristallisationssystemen an, werden Grundlegierung und Lot niemals die erstrebte Verbindung miteinander eingehen. Da aber jedes Kristallgitter in chemisch-physikalischem Sinne ein ausgewogenes Energieverhältnis darstellt, muß sich ein einwandfreier Lötvorgang demnach im physikalisch-theoretischen Sinne im voraus bestimmen lassen.

Die im einschlägigen Schrifttum immer wieder angeführten Begriffe, wie Diffusion, Löslichkeit und Mischkristallbildung zwischen Grundlegierung und Lot, sind ausschließlich durch die Energieverhältnisse der einzelnen Legierungen bestimmt. (14)

Die Erscheinung, daß im Kristallgitter verwandte Stoffe eine gute Diffusion und in korrosionstechnischer und statischer Hinsicht wünschenswerte Ergebnisse zeigen, wie sie sich bei Goldlegierungen und weißen Edelmetall-Legierungen wiederfinden, kann physikalisch wie folgt betrachtet werden: Jedes Atom steht bei normaler Temperatur in einem bestimmten ausgeglichenen Kräfteverhältnis zu seinen Nachbaratomen. Es führt die bekannte thermische Schwingung aus und vibriert in einer sogenannten Potentialmulde. (Abb. 1)

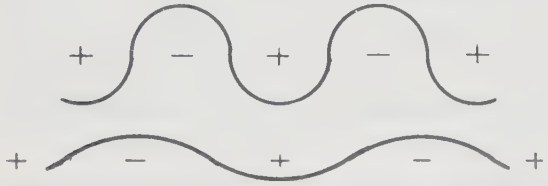


Abb. 1
Stellung der Atome in den Potentialmulden (stilis. Darst.)

Diese Potentialmulde hat einen bestimmten Energieinhalt. Das Atom kann die Mulde nur dann verlassen, also den Wall übersteigen, wenn ein zugeführter Energiestoß (Wärme, Lichtquant) größer ist als der Energieinhalt der Mulde.

In einem kristallinen Körper, wie ihn die Metalle darstellen, sind die Potentialmulden in bestimmten kristallographischen Richtungen energetisch gleich. Jedes Atom wird um so leichter seinen Platz verlassen können, je höher die zugeführte Energie ist und je gleichartiger die durch kristallographische Verhältnisse gegebenen Potentialmulden sind. (15)

Im periodischen System der Elemente liegen die im zahnärztlichen Laboratorium vorzüglich gebrauchten Legierungen des Goldes mit Kupfer und Silber und die Silber-Palladium-Kupferlegierungen eng beieinander und ähneln sich damit in ihrem Elektronenaufbau. Die gute Diffusion dieser Elemente und ihr Zusammentreten in gleichen Raumgittern, die kubisch-flächenförmig zentriert sind, dürfte somit begründet sein.

Im zahnärztlich-werkstoffkundlichen Schrifttum ist die gute Diffusion von Loten bei Gold- und Silber-Palladium-Legierungen ausreichend nachgewiesen. ((7), (9), (10), (12) und (24)). Die Diffusion versagt, wenn kein Bestandteil des Lotes mit einem Bestandteil des zu lötenden Werkstoffes Mischkristalle bildet und auch in geschmolzenem Zustand keine Vermischung der Legierungen erfolgt. In diesem Fall tritt nur eine Adhäsionswirkung ein.

Man kann vier Arten des Lötvorganges unterscheiden:

1.) Lot und Lötobjekt bilden Mischkristalle. Es tritt eine rein physikalische Diffusion ein.
2.) Lot und Lötobjekt bilden intermediäre Kristallarten. Dieses ist eine chemische Diffusion.
3.) Das Lot vermag das Lötobjekt nur in geschmolzenem Zustand zu lösen. Die so entstandene Legierung zerfällt beim Erstarren wieder in ihre Bestandteile. Das Mikrobild einer solchen Lötung zeigt eine Zone, in der die Kristalle des Lotes neben denen des Lötobjektes liegen.
4.) Lot und Lötobjekt mischen sich auch nicht in flüssigem Zustand. In diesem Fall tritt keine Diffusion ein, sondern eine auf Adhäsion beruhende Art des Kittens. (10)

Die Festigkeit der Lötverbindung ist abhängig von den Festigkeitseigenschaften des Lotes, des Grundwerkstoffes aber auch von der Lötspaltbreite.

Es gibt eine sogenannte günstige Lötspaltbreite. Wird der Spalt enger oder breiter genommen, so sinkt die Festigkeit ab. Ist die Lotnaht sehr schmal und liegen die einzelnen zu verlötenden Flächen zu fest aneinander, so kann das Lot - trotz seines starken kapillaren Eindringens - daran gehindert werden, zwischen diese Flächen zu fließen. Auch kann es das verwendete Flußmittel an solchen Stellen nicht mehr verdrängen.

In diesem Fall treten dann Lunker- und Schlackeneinschlüsse auf, die die Festigkeit stark vermindern (10). EGLI (4) hat Lotnähte daraufhin unter-

sucht, inwieweit die Breite oder Enge der Lötfuge für das Zustandekommen eines homogenen Gefüges von Bedeutung ist. Die Versuche wurden mit 16- und 18-karätigem Lot ausgeführt.

Es hat sich ergeben, daß eine breite Lötfuge (0,8 mm breit) immer inhomogen ausfällt und nachträglich durch langes Glühen bei hoher Temperatur einer Homogenisierung bedarf.

Schmale Lotnähte aber, bei denen die zu verlötenden Teile sozusagen in Kontakt miteinander stehen, bekommen bei allmählicher Auskühlung homogene Struktur. Diese Untersuchungen haben aber auch die Ursache gezeigt, warum eine schmale Lotnaht homogen wird. Es zeigte sich nämlich bei 120facher Vergrößerung einer breiten Lotnaht, daß die Kristalle am Rande der Lötfuge homogen sind, während der übrige Teil der Lotnaht inhomogen blieb.

An den Lötfugenrändern kommt es eben leicht zu einer Diffusion zwischen den Lotkristallen und den Kristallen der zu lötenden Teile. Es bildet sich hier eine neue Legierung aus den Bestandteilen des Lotes und des Lötobjektes. Wird nun eine Lötfuge so schmal hergestellt, daß ihre Dimensionen diesen Grenzzonen entsprechen, so muß die ganze Lotnaht homogen ausfallen.

Ein weiterer wichtiger Faktor zur Erzielung einer einwandfreien Lötung ist, wie oben erwähnt, die Vermeidung jeglicher Oxyd- und Sulfidbildung auf den blanken Oberflächen der zu verlötenden Metallteile. Deshalb wird für jede Lötung ein entsprechendes Flußmittel benötigt, das eben die Aufgabe hat, Oxyde zu lösen und das oxydfreie Metall vor erneuter Oxydation beim Erwärmen zu schützen. Außerdem erleichtert oder ermöglicht es die Benetzung des Werkstoffes durch das flüssige Lot, indem es die Oberflächenspannung zwischen Lot und der Legierung des Werkstückes herabsetzt. Das Flußmittel soll bei einer Temperatur schmelzen, die niedriger liegt als die Arbeitstemperatur des Lotes. Auch soll es spezifisch leichter sein als das Lot, damit dieses nicht auf dem Flußmittel schwimmt. Eine Schutz-

oberfläche besteht erst, nachdem das Flußmittel gänzlich geschmolzen ist. (2) Das altbekannte Flußmittel Borax sollte man wegen seiner zweifelhaften Reinheit möglichst nicht mehr benutzen. Außerdem schäumt Borax bei Erhitzung auf und durch den Druck dieser Flußmittelaufquellung besteht die Gefahr der Lageverschiebung der eingebetteten Metallteile zueinander. Die modernen, leichter schmelzenden Flußmittel enthalten auch Bor-Verbindungen, in der Regel aber kein Borax mehr. Ihnen sind Fluoride zugesetzt, die den Schmelzpunkt des Flußmittels stark senken. Nur mit derartigen Flußmitteln ist es z.B. möglich, sogenannte Reparaturlote von sehr niedriger Arbeitstemperatur zu verwenden. Das Flußmittel muß ja beim Aufheizen vor dem Lot schmelzen. Es soll die Lötstelle mit einer Glasurschicht überziehen um den Zutritt von Sauerstoff und somit Oxydbildung zu verhindern.

3. Einbettungsmassen

Speziell bei der Verlötung von Brückenteilen in der zahnärtzlichen Prothetik wird eine Vielzahl von Einbettungsmassen angeboten und verwendet. Meist kann für Guß und Lötzwecke die gleiche Einbettungsmasse nicht verwendet werden. Für Gußzwecke wird eine Masse gebraucht, die so stark expandiert wie das Metall kontrahiert. Beim Löten herrschen andere Verhältnisse: Die Einbettungsmasse mit den eingebetteten Metallteilen wird in einem Ofen vorgewärmt, bis nahe an die Arbeitstemperatur des Lotes erhitzt und anschließend das Lot durch eine offene Brause- oder Stichflamme zum Schmelzen gebracht. Während des Vorwärmens und des Lötvorganges dehnen sich Einbettungsmasse und Metallteile aus und schrumpfen auch wieder bei der Abkühlung. Damit durch die thermische Ausdehnung keine Veränderung in der Lagebeziehung der Metallteile zueinander eintritt, muß die Einbettungsmasse den Volumenveränderungen des Metalles folgen, also in derselben Weise expandieren und kontrahieren, oder es muß die Einbettungsmasse gewissermaßen indifferent bleiben, dem Metall aber Ausdehnung und Schrumpfung gestatten. Ferner steht fest, daß die meisten Einbettungsmassen schon während des Abbindens eine Expansion aufweisen, die die Lage der zu verbindenden Metallteile zueinander verändern kann.

Zur Vermeidung dieser Fehlerquelle fordert ELBRECHT eine Einbettungsmasse von geringerer Festigkeit, damit es dem Klebewachs möglich bleibt, während des Erstarrungsvorganges, das eingebettete Gut in der gegebenen Lage zu halten. (5)

Die Abbindeexpansion der Einbettungsmassen ist abhängig von der Natur des Modellgipses bzw. gewisser chemischer Zusätze. Die SiO_2-Mineralien, Quarz und Christobalit, nehmen an der Abbindeexpansion überhaupt nicht teil. Über die räumliche Ausdehnung des Gipses haben besonders TÜRKHEIM und SCHRÖDER ausführlich berichtet. (31) Sie untersuchten den Zusammenhang der Abbindedehnung von Wassergehalt, Rührart, Rührdauer und Wassertemperatur sowie von Zusätzen, welche zusammen mit der Dehnung die Abbindezeit beschleunigen oder verkürzen.

Aus diesen Untersuchungen geht hervor, daß bei Verwendung von Verzögerungsmitteln die Abbindeexpansion des Gipses zurückgeht.

Da aber die meisten Einbettungsmassen einen bereits mit Verzögerungsmitteln versetzten Gips verwenden, ist die Abbindedehnung der üblichen Einbettungsmassen sehr gering. Nach verschiedenen Angaben liegt sie zwischen 0,0% und 0,3% lin. ENDELL und HOFMANN (6) untersuchten die Abbindeexpansion von verschiedenen Einbettungsmassen mit einem in Deutschland zur Messung der Schwindung von Beton benutzten Komparator von GUTTMANN wie er z.B. von der Firma Leitz (Wetzlar) geliefert wird.

Sie stellten fest, daß die Abbindeexpansion weitgehend vom Wassergehalt abhängig ist. Je größer der Wassergehalt, um so geringer die Abbindeexpansion. Alle untersuchten Quarz- und Christobalitmassen hatten genau wie ein untersuchter Alabastergips nach einer Stunde eine Abbindeexpansion von 0,1% lin. erreicht.

Was nun die thermische Expansion der Einbettungsmassen betrifft, so hat diese Frage COSSMANN sehr ausführlich behandelt. (1) Auch GERLACH hat eine ganze Reihe deutscher und ausländischer Handelsmarken mit einem Dilatometer auf ihr thermisches Volumenverhalten untersucht. Er stellte

fest, daß die linearen Ausdehnungen der untersuchten Massen 0,1 - 0,4% zu gering sind, um den mittleren Wert der Goldkontraktion von 1,5% restlos auszugleichen. (13)

Bei der Erhitzung der Einbettungsmassen, ob nun zu Guß- oder Lötzwecken, stellen sich zwei Phänomene ein. Erstens wird der Gips einer Kontraktion unterzogen und zwar bei 400° C zum erstenmal und dann wieder um 800° C herum. Diese Kontraktion versucht man zu vermindern indem man danach trachtet, den Gipsanteil der Einbettungsmasse möglichst tief zu halten, sowie durch Zusatz von Natrium-Chlorverbindungen oder durch Borsäure-Anhydrid.

Zweitens erfahren die Anteile des Siliziums im Gegensatz eine Dilatation. So Quarz bei etwa 575° C (etwa 0,9% lin.) Christobalit hingegen zwischen 200° C und 300° C (etwa 1,2% lin.). Diese Dilatation ist größer als bei allen quarzhaltigen Einbettungsmassen, auch verändert Christobalit seine Dimension nicht mehr. ((22) und (27)).

Nach ihrem Aufbau können wir zwischen zwei Gruppen und vier Arten von Einbettungsmassen unterscheiden:

A) Einbettmassen die eine mehr oder weniger große thermische Dehnung bei 700° C aufweisen, aber praktisch keine Abbindedehnung haben.
   1. Quarzeinbettungsmassen mit mittlerer thermischer Expansion bei 700° C bis etwa 0,7 % lin.
   2. Quarzeinbettungsmassen mit höherer thermischer Expansion bei 700° C bis etwa 0,9 - 1,1% lin.
   3. Christobaliteinbettungsmassen mit thermischer Expansion bei 700° C bis etwa 1,3 % lin.

B) Einbettungsmassen mit thermischer Expansion und Abbindeexpansion
   4. Quarzeinbettungsmassen mit etwa 0,7% linearer thermischer Expansion und etwa 0,9 % linearer Abbindeexpansion. Gesamtexpansion etwa 1,6 % lin. (Die Gesamtexpansion ist die Summe von Abbinde- und thermischer Expansion). (6)

Aus dem bisher gesagten ist zu ersehen, daß man alle am Lötprozeß beteiligten Materialien und Faktoren in ihrem Verhalten genau kennen, beachten und aufeinander abstimmen muß. Nur so kann eine optimale Paßgenauigkeit der verlöteten Brückenteile erzielt werden.

Zu untersuchen ist die Frage, ob die am Lötprozeß beteiligten Faktoren eine lineare Veränderung der für prothetische Zwecke angefertigten Edelmetallbrücke bewirken können.

4. Untersuchungs - Schema

Um diese Teilfrage des Lötvorgang-Komplexes zu klären, habe ich mich bemüht, eine Versuchsanordnung zusammenzustellen, die allen oben geschilderten Erfordernissen entsprechen und die einzelnen erwähnten Faktoren berücksichtigen soll.

Die verwendeten Materialien und angewandten Arbeitsmethoden entsprechen den Werkstoffen und Methoden, die in der Praxis und in den technischen Laboratorien verwendet und angewandt werden. Um vergleichende Gegenüberstellungen zu gestatten, wurde versucht, möglichst einander ähnliche Testbrücken und Versuchsbedingungen innerhalb der einzelnen Testserien zu schaffen.

Als Ausgangsmaterialien standen mir drei Einbettungsmassesorten von verschiedenen Herstellerfirmen und für die Anfertigung der Testbrücken, Goldlegierungen der bekannten Degulor-Gruppe der Firma DEGUSSA (Frankfurt/a. M.) zur Verfügung. Die Werkstoffe wurden entsprechend praxisnahe verarbeitet und geformt und auf ihr lineares Dimensions- bzw. Formverhalten geprüft.

Das Untersuchungsverfahren verlief schematisiert folgendermaßen:

1. Feststellung des thermischen Expansionsverhaltens der drei verwendeten Einbettungsmassesorten.
2. Auswahl und Anfertigung der einzelnen stilisierten Brückenteile.
3. Lötvorgang, mit meßmikroskopischen Kontrollen des linearen Dimensionsverhaltens der Testbrücken zwischen den einzelnen Arbeitsgängen.

Durch Vergleich der Abmessungen der einzelnen Testbrücken vor, während und nach dem Lötvorgang-Komplex erhält man die lineare Formveränderung der Testkörper.

5. Separate Untersuchung des thermischen Verhaltens des verwendeten Einbettungsmasse-Materials

Zur Untersuchung gelangten drei Einbettungsmassesorten verschiedener Hersteller und zwar:

A) E 316 eine Einbettungsmasse von hoher thermischer Expansion und geringer Abbindeexpansion.

B) Duroterm eine Einbettungsmasse von geringer thermischer Expansion und hoher Abbindeexpansion.

C) Röcotherm-Löteinbettungsmasse als Beispiel einer speziellen Löteinbettmasse.

Das vorliegende Prüfverfahren zur Feststellung des thermischen Expansionsverhaltens der drei genannten Einbettungsmassen baut auf der Grundkonzeption von REHBERG (23) auf. Um die Expansion zu messen, wurde folgende Versuchsanordnung gewählt:

Mit Hilfe einer zerlegbaren Einbettungsmasseform (Abb. 2 und Abb. 3) wurden aus den verschiedenen Einbettungsmassen Stäbe der Abmessung 6 mm x 6 mm x 100 mm geformt und in ein einseitig verschlossenes Quarzglasrohr eingeführt.

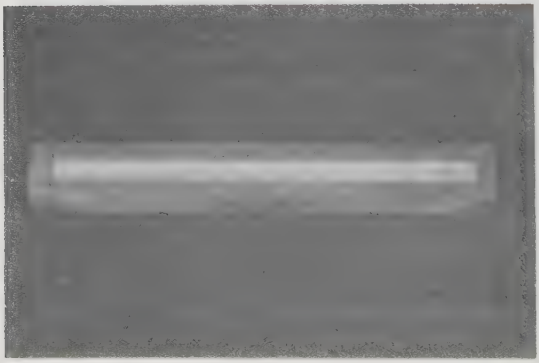


Abb. 2

Zerlegbare Einbettmasseform (geschlossen)

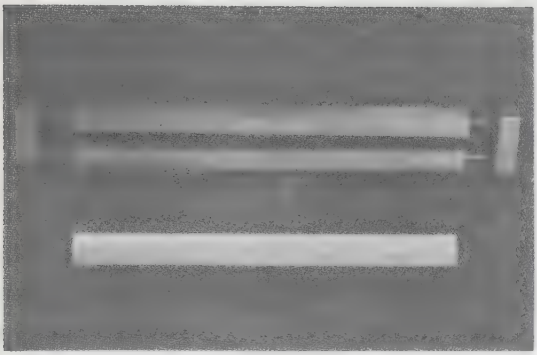


Abb. 3

Zerlegbare Einbettmasseform
(offen)

Auf diesen Stab aus Einbettungsmasse wurde dann ein kleiner Quarzglasstab aufgesetzt, der mit seinem anderen Ende auf den Fühlhebel einer Mikrometeruhr mit 0,001 mm Ablesegenauigkeit drückt (siehe Abb. 4 und Abb. 5).

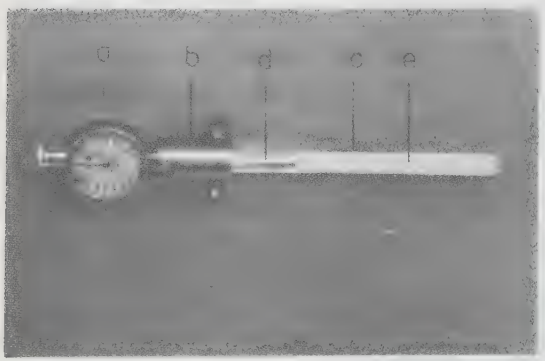


Abb. 4

Expansionsprüfapparat bestehend aus Mikrometeruhr a Halterung b Quarzglasrohr c Quarzglasstab d Einbettungsmassestab e

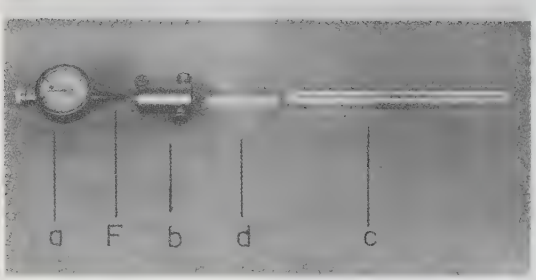


Abb. 5

Expansionsprüfapparat (zerlegt)
Mikrometeruhr a
Fühlhebel der Mikrometeruhr F
Halterung b
Quarzglasrohr c
Quarzglasstab d

Diese Versuchsanordnung wurde nun so in einen elektrisch beheizten Ofen eingeführt, daß lediglich der Teil des Quarzglasrohres, der den Einbettmassestab enthielt, erwärmt wurde (s. Abb. 6)

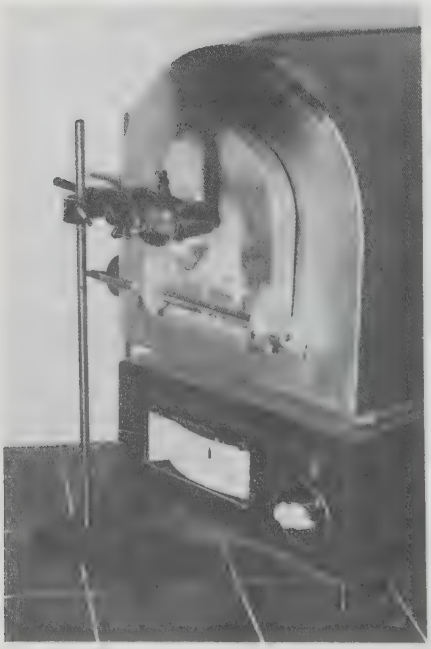


Abb. 6

Elektrischer Dental-Wärmeofen mit Versuchsanordnung

Die durch ein in den Ofen eingebautes Thermoelement kontrollierte Erwärmung wurde so durchgeführt, daß alle 50° C bis zur Konstanz der Längenänderung die Temperatur gehalten wurde. Eine konstante Erhöhung der Temperatur des Ofens führte immer zu einem erheblichen Zurückbleiben der Temperatur der Einbettungsmasse, jedoch nicht zu anderen Expansionswerten.

Um zu gewährleisten, daß alle Prüfkörper die gleichen Anteile von nicht gebundenem sogenannten "freien Wasser" enthalten, wurden die, für die thermische Expansionsprüfung verwendeten Einbettungsmassestäbe bei einer Temperatur von 100° C in einem Vorwärmeofen eine Stunde lang getrocknet und anschließend in einem Exsikkator bis zu ihrer Verwendung im Versuch aufbewahrt.

Für diese Expansionsuntersuchung wurden neun Einbettungsmassestäbe hergestellt und zwar jeweils drei der gleichen Einbettungsmassesorte. Je drei Versuche wurden also mit der gleichen Art von Einbettungsmasse durchgeführt. Aus zwei Gründen fand in der beschriebenen Versuchsanordnung Quarzglas Verwendung:

1. Quarzglas zählt zu den Stoffen mit dem geringsten thermischen Ausdehnungskoeffizienten. Er beträgt nur 0,0000059, d.h. ein Stab von 1 m Länge wird beim Erhitzen von 0° C bis 1000° C um nur 0,59 mm länger und liegt damit etwa 10 mal niedriger als der Ausdehnungskoeffizient unserer zu prüfenden Einbettungsmassen.
2. Quarzglas kann bis etwa 1400° C, ohne eine Veränderung zu erleiden, erhitzt werden. Auch schroffe Abkühlung und plötzliche Zuführung hoher Temperaturen verträgt es ohne zu zerspringen.

Die in Abb. 7 gezeigten Expansionskurven stellen die Mittelwerte der thermischen Expansion, bzw. Kontraktion der untersuchten Einbettungsmassen dar.

Nach meinen Untersuchungen besitzt die Einbettungsmasse E 316, im Vergleich zu den beiden anderen verwendeten Massen, die größte thermische Expansion.

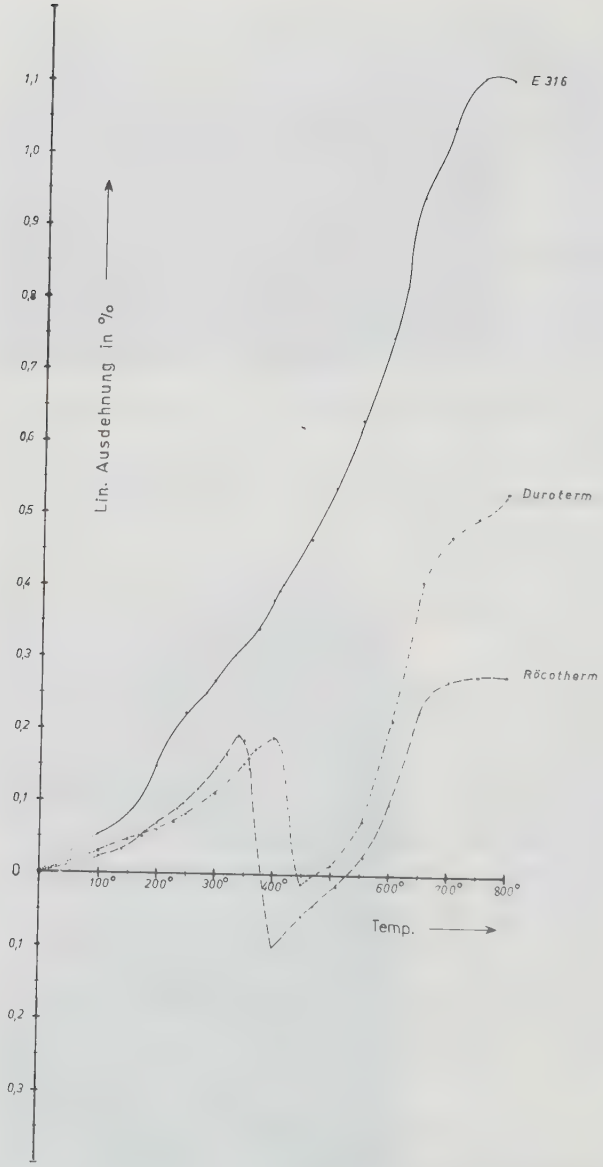


Abb. 7. Messungen der thermischen Expansion, bzw. Kontraktion mit der in Abb. 6 gezeigten Prüfanordnung.

Bei einer Temperatur von 750° C beträgt sie 1,10 % lin. Duroterm und Röcotherm dagegen kommen bei einer Erwärmung auf 750° C nur auf eine lineare thermische Ausdehnung von 0,50 % bzw. 0,28 %.

Die bei den Einbettungsmassen Duroterm und Röcotherm beobachtete Kontraktion im 400° C - Bereich fehlt bei der E 316 Masse völlig.

Nach dieser Feststellung des Expansionsverhaltens der drei ausgewählten Einbettungsmassen, konnte nun mit den eigentlichen Versuchen zur Klärung der Frage "lineare Veränderung von Brücken durch den Lötprozeß" begonnen werden.

6. Auswahl der Brückenformen

Es wurden vier verschiedene stilisierte Brückenkonstruktionen hergestellt, um die hauptsächlichsten Brückenarten zu berücksichtigen, die in der zahnärztlichen Prothetik vorkommen.

A) In der Testserie Nr. 1 eine Brückenkonstruktion, die etwa den Ersatz zweier fehlender Backenzähne (Praemolar, Molar) darstellen soll.

B) In der Testserie Nr. 2 eine Doppelendbrücke mit einem zu ersetzenden Backenzahn.

C) Testserie Nr. 3 zeigt eine Zusammenstellung:
Krone - Zwischenglied - Krone - Zwischenglied - Krone, einen sogenannten "Zwischenlücken-Ersatz", bei dem Brückenkörper und Anker aber nicht gradlinig, sondern im Winkel zueinander verlaufen.

D) Testserie Nr. 4, in der Konstruktion ähnlich wie Serie Nr. 1, nur mit zweimal bogenförmig ausgespartem Brückenkörper, sollte nur zur Bestätigung der bei den Testserien 1 - 3 gefundenen Ergebnisse dienen. (S. Abb. 8)

Während der laufenden Versuche ergab sich die Notwendigkeit, eine weitere Brückenkonstruktion (Testserie Nr. 5) näher zu untersuchen, die noch später erläutert werden soll. (S. Seite 38).

Abb. 8
Brückenformen
der Testserien 1 - 4

Für jede Testserie wurden neun stilisierte Brücken angefertigt, von denen immer je drei unter Verwendung einer der oben erwähnten Einbettungsmassen verlötet wurden.

7. Herstellung der Brückenteile

Bei der Herstellung der Brückenteile sollten möglichst immer die gleichen Formen und Abmessungen erreicht werden. Es war deshalb notwendig, bestimmte Grundformen für Brückenglieder und Brückenanker zu schaffen.

Ein sogenanntes Grundmodell A wurde in seinen Formen und Abmessungen den Verhältnissen weitgehend angeglichen, die für die geplanten Versuche als am besten geeignet erschienen. Ausgehend von diesem Grund-Kombinationsmodell konnten alle geforderten Brückenkombinationen hergestellt werden. Somit war für die spätere Auswertung die Möglichkeit vergleichender Gegenüberstellungen der einzelnen Versuchskörper gegeben.

Die genauen Maße dieses Ausgangsmodelles sind der Konstruktionszeichnung (siehe Abb. 9) zu entnehmen.

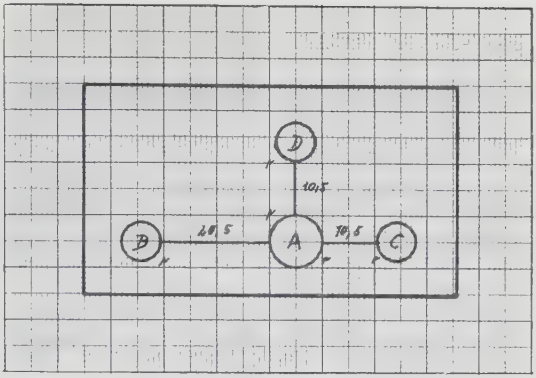


Abb. 9

Grundmodell A (Konstruktionszeichnung)

Maßstab 1 : 1

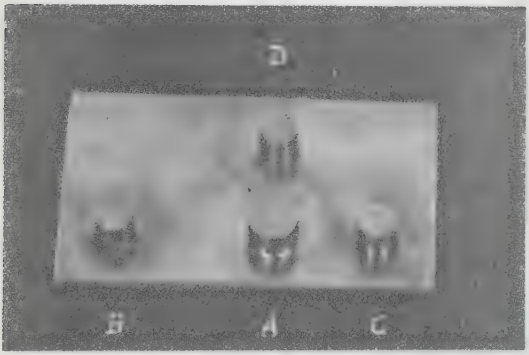


Abb. 10

Grundmodell A

Das Grund-Kombinationsmodell A besteht aus einer Metallplatte, auf welcher vier Metallzylinder montiert sind. Diese Metallzylinder sollen beschliffene Zahnstümpfe stilisiert darstellen. Der auf der Abb. 9 mit A bezeichnete Zylinder ist für Kronenringe mit 30 mm Umfang, die Metallzylinder B, C und D für Kronenringe mit 23 mm Umfang bestimmt.

Die Abstände der Zylinder zueinander betragen (gemessen auf der x-Achse von Punkt r zu Punkt r):

A : B = 10,5 mm, A : D = 10,5 mm und A : C = 20,5 mm.
Die Höhe der einzelnen Säulen ist mit 7,0 mm festgelegt. Für die

Kronenherstellung habe ich 8,0 mm hohe Kronenringe von 23,0 mm und 30,0 mm Umfang auf die entsprechenden Metallzylinder des Grundmodelles aufgesetzt. Diese Kronenringe bestehen aus 0,25 mm dickem "Degulor i"-Goldblech und werden von der Firma DEGUSSA lotnahtfrei fertig geliefert. Der Kronendeckel wurde in 1,0 mm Stärke mit Blauwachs modelliert und dann Ring und Wachsdeckel, mit im Vacuum von Luftblasen befreiter Einbettungsmasse, eingebettet. Mit "Degulor M"-Gußlegierung erfolgte dann der Anguß des Kronendeckels an den Degulor i - Kronenring.

Nach dem Ausbetten wurden Kronenring und Deckel nicht mehr miteinander verlötet, denn Degulor i ist frei von Unedelmetallen, so daß Kronenringe aus diesem Material beim Vorwärmen in der Einbettungsmasse völlig blank bleiben. Es bildet sich also keine Oxydschicht; Ring und Kronendeckel können sich beim Angießen zu einer festen Einheit verbinden.

Für die Herstellung der Brückenkörper wurde ebenfalls eine Grund- oder Ausgangsform B geschaffen (s. Abb. 11):

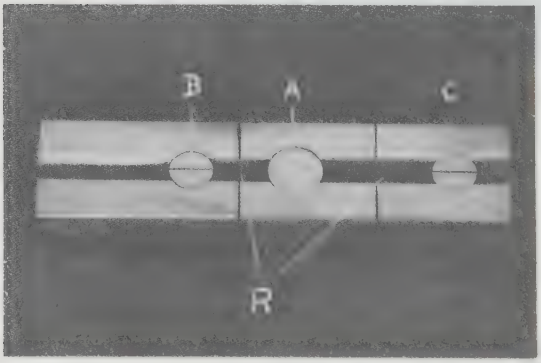


Abb. 11
Ausgangsform B

In einen Metallblock ist eine durch den ganzen Block laufende, 5,0 mm tiefe Rinne R eingefräst. Der Querschnitt dieser Rinne hat die Form eines gleichseitigen Dreiecks mit 5,0 mm Seitenlänge (s. Abb. 12)

Abb. 12

Seitenansicht (Ausschnitt) der Ausgangsform B

In dem Metallblock sind wiederum drei Metallzylinder B A C vom Umfang B = 23,0 mm, A = 30,0 mm und C = 23,0 mm eingelassen, welche die Rinne R in zwei abgemessene Strecken B : A = 10,0 mm und A : C = 20,0 mm unterteilen.

Auf diese Weise entstanden zwei stilisierte Brückenkörperformen von dreieckigem Querschnitt mit 10,0 mm und 20,0 mm Länge. Die dreieckige Querschnittform der Brückenglieder wurde deshalb gewählt, um eine stilisierte Mittelart zu den in der zahnärztlichen Brückenprothetik angewandten hygienisch und statisch einwandfreien, im Querschnitt etwa herzförmigen Zwischengliedern zu schaffen.

Die oben beschriebenen Brückenkörperformen wurden dann mit Gußwachs ausgefüllt (nach vorhergehender leichter Isolierung der Form mit dem Isoliermittel ANTICOLL). Die Wachskörper wurden anschließend mit im Vacuum von Luftblasen befreiter Einbettungsmasse eingebettet und mit Degulor M - Metall gegossen.

Die auf diese Art hergestellten, stilisierten Kronen und Zwischenglieder wurden dann, je nach gewünschter Brückenform, auf das Grundmodell A (s. Abb. 10) aufgesetzt und mit Klebewachs fixiert.

Nach dem Abnehmen der fixierten Brücke vom Grundmodell A konnte nun die jeweilige Testbrücke mit einem Meßmikroskop, dem "Meßmikroskop 50" der Firma Carl Zeiss (Oberkochen/Württ.), in ihrer linearen Abmessung genauestens vermessen werden.

8. Meßverfahren und Lötvorgang

Das "Meßmikroskop 50" (s. Abb. 13) ist ein Gerät zur Längenmessung von Werkstücken.

Es besteht aus dem Gerätefuß, der gewaffelten Tischplatte mit zwei Nuten zum Aufnehmen der Befestigungsschrauben für den Kreuz-Meßtisch und der Säule mit Steilgewinde für die Grob-Höhenverstellung des Mikroskops.

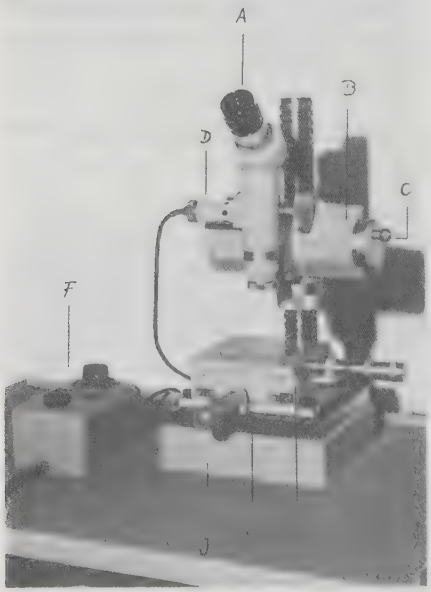


Abb. 13

Meßmikroskop 50

A Okular mit Dioptrienring
B Meßschlitten
C Meßtrommel mit 1/10 und 1/100 Intervallen
D Einbaubeleuchtung
E Stellring für Grob-Höheneinstellung
F Netzanschlußgerät
G Kreuz-Meßtisch
H Tischplatte mit T-Nuten
I Gerätefuß

Die Säule besitzt zwei Führungsnuten für die Federrast des Mikroskoparmes zum Einstellen des Mikroskops über dem Meßtisch.

Mit dem Längsschlitten können Längenmessungen von Werkstücken in einer Richtung (x - Achse) ausgeführt werden. Das Mikroskop ist mit einem 3fachen Objektiv und 10fachen Winkelmeßokular für eine Gesamtvergrößerung von 30 mal ausgerüstet. Das Okular enthält zwei Strichplatten: Eine drehbare mit Strichkreuz und eine feststehende mit einer in 1/2-Grade geteilten Winkelskala von - 90° bis + 90°; Strichfigur und Skala befinden sich in der Bildebene des Okulars. Mit den Kreuzlinien wird auf die Meßpunkte oder Kanten bei Längen- oder Winkelmessungen eingestellt.

Das Winkelmeßokular ist mittels Dioptrienring in der üblichen Weise auf die Fehlsichtigkeit des Beobachters einstellbar.

Die kombinierte Einbaubeleuchtung ist in einem senkrecht zur Mikroskopachse angesetzten Stutzen untergebracht und enthält eine 6 V 5 W - Lampe sowie den erforderlichen Kondensor. Im Mikroskoptubus befindet sich ein Umlenkwürfel, der das Licht durch das Objektiv auf den Prüfling wirft.

Meine Meßmethodik machte es notwendig, fixe Meßstellen an jeder Testbrücke zu schaffen. Auf dem Kauflächenmittelpunkt jedes Brückenankers wurde deshalb mit einem genau senkrecht laufenden Rosenbohrer (Größe 0) eine muldenförmige Markierung eingeschnitten. Der Mittelpunkt dieser Markierungsmulde konnte dann bei der mikroskopischen Betrachtung im Auflicht des Meßmikroskops genau fixiert werden. Die Brückenglieder wurden nach dem Guß wieder in die Modellierform des Grundmodelles B eingesetzt und in der Körpermitte durch einen senkrecht zur Körperlängsachse verlaufenden Sägeschnitt markiert. Diese Schnittmarkierung der Zwischenglieder diente aber nur als Hilfsmarkierung und wurde später bei der endgültigen Berechnung und Festlegung der linearen Veränderungen der Testbrücken nicht berücksichtigt.

Die für das Ausmessen jeder Versuchsbrücke festgelegte Meßstrecke

verlief also in Längsrichtung durch die Mitte der gesamten Brückenkonstruktion.

Als feste Meßpunkte waren bestimmt:

Meßpunkt A : Kreuzpunkt zwischen Brücken-Längsachse a und Kreistangente tg 1

Meßpunkt B : Mittelpunkt der in die Krone mit 30,0 mm Umfang eingeschnittenen Markierungsmulde

Meßpunkt C : In der Mitte des Brückenkörpers liegender Schnittpunkt zwischen Brücken-Längsachse a und zu dieser senkrecht verlaufendem Sägeschnitt

Meßpunkt D : Mittelpunkt der in die Krone mit 23,0 mm Umfang eingeschnittenen Markierungsmulde

Meßpunkt E : Kreuzpunkt zwischen Brücken-Längsachse a und Kreistangente tg 2 (s. Abb. 14)

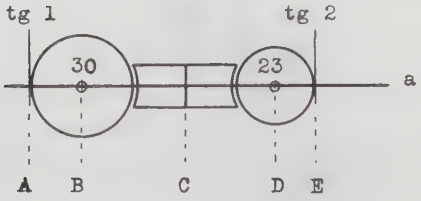


Abb. 14

Brücken - Meßpunkte

Mit Ausnahme der Versuchsserie 3, in welcher noch einige weitere Meßpunkte berücksichtigt werden mußten, waren die Meßstellen der Testserien 1, 2, 4 und 5 immer die gleichen. Mit Hilfe dieser fünf festen Meßpunkte wurde die Längendurchmesser-Messung der einzelnen Testbrücken wie folgt durchgeführt: Nachdem ich den Außendurchmesser der 30 er-Krone der Testbrücke scharf eingestellt hatte, wurde das Okularstrichkreuz diesem tangential angelegt (Meßpunkt A). Die betreffende Mikroskop-Längsschlittenstellung las ich an der Meßeinteilung ab. Dann wurde der Längsschlitten solange in horizontaler Richtung verscho-

ben, bis der Mittelpunkt der eingeschnittenen Markierungsmulde der Krone mit 30,0 mm Umfang (Meßpunkt B) im Gesichtsfeld erschien. Nach Fixierung auch des Meßpunktes D, die Meßpunkte B und D mußten genau auf der Brücken-Längsachse a liegen, wurden auch diese Meßwerte auf der Längsschlitten-Meßeinteilung abgelesen und festgelegt. Die weiteren Meßpunkte C und E konnten auf die gleiche Art und Weise durch Verschiebung des Meßschlittens ermittelt werden.

Die Differenz der gefundenen Werte ergab die genaue Länge der Meßstrecken, die Summe der einzelnen Meßstrecken die Gesamtlänge des Testkörpers.

In der Serie 3 kamen zu den erwähnten Meßpunkten A - E, durch die rechtwinkelig zu der Krone mit 30,0 mm Umfang angeordnete Verlängerung der Brücke um zwei weitere Brückeneinheiten, noch fünf Meßpunkte (F, G, H, J und K) hinzu, die aber in ihrer Lage und Anordnungsart den Meßpunkten A - E genau entsprechen.

Die Meßstrecke B - D, bzw. G - J in der Serie 3, wird in den später folgenden Ergebnis-Tabellen als Entfernung L (Länge) bezeichnet. Unter Gesamtlänge ist die Strecke A - E bzw. F - K zu verstehen.

Jede Testmessung in jeder Versuchsserie wurde zur Kontrolle dreimal ausgeführt, um die Richtigkeit der Messung kontrollieren zu können. An jeder Versuchsbrücke wurden folgende Messungen durchgeführt:

1. Messung: Brücke fixiert, d.h. Kronen und Zwischenglieder mit Klebewachs fixiert, soeben abgenommen vom Grundmodell A.
2. Messung: Brücke eingebettet in Einbettungsmasse.
3. Messung: Brücke gelötet.
4. Messung: Brücke ausgebettet und abgesäuert .

Die erste Messung erfolgte also nach dem Abnehmen der mit Klebewachs fixierten Brücke vom Grundmodell A. Da die zweite Messung an der in Einbettungsmasse eingebetteten Brücke vorgenommen werden sollte, war es notwendig, einen Formrahmen zu konstruieren, um dem

Einbettungsmasse-Lötblock für jeden Versuch die gleiche Form geben zu können. Abbildung 15 (siehe auch Abb. 16) zeigt zwei auseinandernehmbare Einbettungsmasse Formen.

Formrahmen 1 ist nur für die Einbettung der Testbrücken der Serie 3 konstruiert.

Der Formrahmen 2 dient, ohne herausnehmbaren Block X, der Einbettung der Brücken mit Zwischengliedlänge 20,0 mm, also den Serien 1 und 4. Mit eingesetztem Block X wurde der Rahmen für die Einbettung der Brücken der Serien 2 und 5 verwendet.

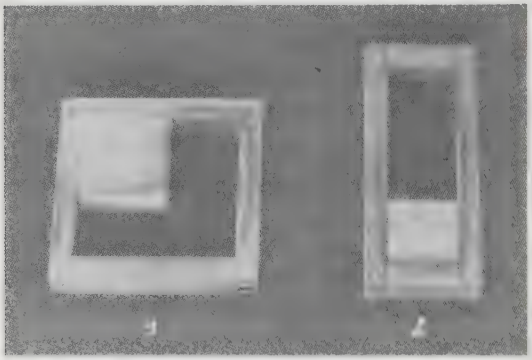


Abb. 15

Einbettungsmasse-Formen (geschlossen)
links: Formrahmen 1
rechts: Formrahmen 2 mit Block X

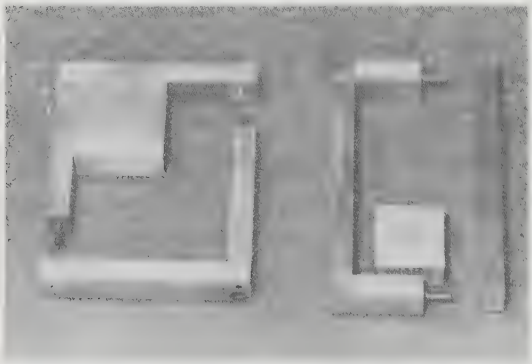


Abb. 16

Einbettungsmasse-Formen 1 und 2 (auseinandergenommen)

Diese Formrahmen wurden nun, der jeweiligen Versuchsserie entsprechend, mit Einbettungsmasse beschickt und die mit Klebewachs fixierte

Brücke waagerecht darin eingebettet. Die waagerechte Einbettung wurde mittels einer kleinen Wasserwaage kontrolliert.

Das Anrühren der Einbettungsmassen erfolgte im - vom Hersteller angegebenen - genauen Mischungsverhältnis Einbettmasse : dest. Wasser.

Nach Entfernung des Klebewachses durch Ausbrühen und Herausnahme des Lötblockes aus dem Formrahmen (30 Minuten nach dem Anrühren) wurde nach insgesamt 60 Minuten die zweite Messung vorgenommen.

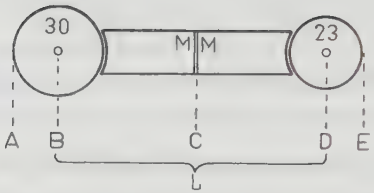
Der Lötblock wurde dann 20 Minuten in einem elektrischen Vorwärmeofen bei 650° C vorgewärmt und die Lötstellen anschließend mit UNI-FLUX-Lötpaste (Herst. DEGUSSA/Frankf.) abgedeckt. Danach erfolgte die Verlötung der einzelnen Brückenteile miteinander.

Nach einer Warte- und Abkühlzeit von weiteren 45 Minuten wurde die dritte Messung vollzogen.

Die vierte Messung erfolgte als Abschlußmessung nach dem Ausbetten aus dem Lötblock und nach dem Absäuern der jeweiligen Versuchsbrücke in 10 %iger Schwefelsäure.

9. Ergebnisse und Auswertung der Messungen

Die Meßergebnisse der Versuchsserien 1 - 4 sind aus den folgenden Tabellen zu ersehen (Abb. 17, 18, 19 und 20). Die Zahlen und Buchstaben unter den einzelnen Serienbezeichnungen im Tabellenkopf der genannten Abbildungen, dienen der Benennung der verschiedenen Brückenteile und der besseren Übersicht.

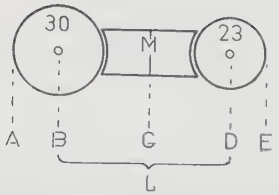


1. Serie
30/MM/23

Meßwerte in Millimeter

Einbettmasse	E316	E316	E316	Duro	Duro	Duro	Röco	Röco	Röco
Testlötung	Nr.1	Nr.2	Nr.3	Nr.4	Nr.5	Nr.6	Nr.7	Nr.8	Nr.9
1.Messung (Brücke fixiert) Gesamtlänge A-E1	37,670	37,580	37,626	37,656	37,536	37,584	37,546	37,688	37,519
Entfernung L 1	28,953	28,641	28,597	28,691	28,551	28,556	28,634	28,480	28,931
2.Messung (Brücke eingebettet) Entfernung L 2	29,020	28,672	28,620	28,748	28,552	28,603	28,638	28,534	28,941
3.Messung (Brücke gelötet) Entfernung L 3	28,880	28,640	28,584	28,680	28,467	28,550	28,604	28,436	28,925
4.Messung (Brücke abgesäuert) Entfernung L 4	28,901	28,640	28,580	28,678	28,466	28,511	28,630	28,400	28,929
Gesamtlänge A-E4	37,620	37,579	37,603	37,635	37,529	37,546	37,529	37,612	37,517
Veränderung (in mm)									
L2 : L1	+0,067	+0,031	+0,023	+0,057	+0,001	+0,047	+0,004	+0,054	+0,010
L3 : L1	-0,073	-0,001	-0,013	-0,011	-0,084	-0,006	-0,030	-0,044	-0,006
L4 : L1	-0,052	-0,001	-0,017	-0,013	-0,085	-0,045	-0,004	-0,080	-0,002
AE4 : AE1	-0,050	-0,001	-0,023	-0,021	-0,007	-0,038	-0,017	-0,076	-0,002
Veränderung (in %)									
L2 : L1	+0,18%	+0,08%	+0,06%	+0,15%	+0,00%	+0,12%	+0,01%	+0,14%	+0,03%
L3 : L1	-0,19%	-0,00%	-0,03%	-0,03%	-0,22%	-0,02%	-0,08%	-0,12%	-0,02%
L4 : L1	-0,14%	-0,00%	-0,05%	-0,03%	-0,23%	-0,12%	-0,01%	-0,21%	-0,01%
AE4 : AE1	-0,13%	-0,00%	-0,06%	-0,06%	-0,02%	-0,10%	-0,05%	-0,20%	-0,06%

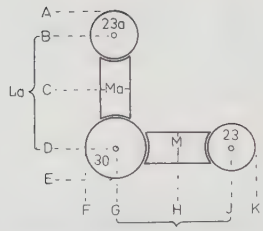
Abb. 17. Ergebnis-Tabelle der 1. Versuchsserie.



2.Serie
30/M/23

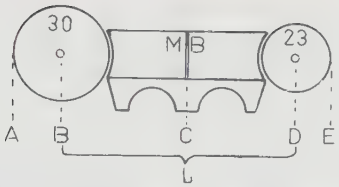
	Einbettmasse	E316	E316	E316	Duro	Duro	Duro	Röco	Röco	Röco
	Testlötung	Nr.1	Nr.2	Nr.3	Nr.4	Nr.5	Nr.6	Nr.7	Nr.8	Nr.9
Meßwerte in Millimeter	1.Messung (Brücke fixiert) Gesamtlänge A-E1	27,889	27,976	27,946	27,997	27,791	27,955	27,910	27,931	28,100
	Entfernung L 1	18,981	18,969	19,053	19,070	19,080	18,937	18,904	18,955	18,930
	2.Messung (Brücke eingebettet) Entfernung L 2	19,022	18,991	19,085	19,116	19,082	18,956	18,925	18,987	18,941
	3.Messung (Brücke gelötet) Entfernung L 3	18,929	18,899	18,988	18,979	19,010	18,884	18,853	18,907	18,858
	4.Messung (Brücke abgesäuert) Entfernung L 4	18,922	18,893	18,994	19,005	19,004	18,897	18,856	18,923	18,856
	Gesamtlänge A-E4	27,861	27,920	27,934	27,935	27,741	27,941	27,856	27,888	28,022
	Veränderung (in mm)									
	L2 : L1	+0,041	+0,022	+0,032	+0,046	+0,002	+0,019	+0,021	+0,032	+0,011
	L3 : L1	-0,052	-0,070	-0,065	-0,091	-0,070	-0,053	-0,051	-0,048	-0,072
	L4 : L1	-0,059	-0,076	-0,059	-0,065	-0,076	-0,040	-0,048	-0,032	-0,074
	AE4 : AE1	-0,028	-0,056	-0,012	-0,062	-0,050	-0,014	-0,054	-0,043	-0,078
	Veränderung (in %)									
	L2 : L1	+0,22%	+0,12%	+0,17%	+0,24%	+0,01%	+0,10%	+0,11%	+0,17%	+0,59%
	L3 : L1	-0,32%	-0,37%	-0,34%	-0,48%	-0,34%	-0,28%	-0,27%	-0,25%	-0,38%
	L4 : L1	-0,35%	-0,40%	-0,31%	-0,34%	-0,40%	-0,21%	-0,25%	-0,17%	-0,39%
	AE4 : AE1	-0,10%	-0,20%	-0,04%	-0,22%	-0,18%	-0,05%	-0,19%	-0,15%	-0,28%

Abb. 18. **Ergebnis-Tabelle der 2. Versuchsserie.**



Einbettmasse	E316	E316	E316	Duro	Duro	Duro	Roco	Roco	Roco
Testlötung	Nr.1	Nr.2	Nr.3	Nr.4	Nr.5	Nr.6	Nr.7	Nr.8	Nr.9
1.Messung (Brücke fixiert)									
Gesamtlänge A-E1	27,891	28,012	27,966	27,980	28,053	27,975	28,083	28,037	27,870
Gesamtlänge F-K1	28,071	27,884	28,108	27,972	27,859	27,982	27,879	28,047	27,995
Entfernung La 1	18,947	19,062	19,055	18,978	19,028	18,713	19,102	19,178	19,188
Entfernung L 1	19,018	18,976	18,767	18,734	18,911	19,032	18,737	19,123	18,909
2.Messung (Brücke eingebettet)									
Entfernung La 2	18,984	19,083	19,068	18,990	19,036	18,739	19,104	19,179	19,190
Entfernung L 2	19,047	19,017	18,804	18,778	18,925	19,053	18,766	19,134	18,928
3.Messung (Brücke gelötet)									
Entfernung La 3	18,900	19,020	18,982	18,926	18,951	18,693	19,038	19,108	19,120
Entfernung L 3	18,985	18,942	18,640	18,642	18,880	18,970	18,716	18,950	18,864
4.Messung (Brücke abgesäuert)									
Entfernung La 4	18,898	19,024	18,993	18,929	18,958	18,688	19,065	19,145	19,145
Entfernung L 4	18,981	18,953	18,636	18,659	18,879	18,990	18,701	18,965	18,930
Gesamtlänge A-E4	27,844	27,977	27,898	27,804	27,989	27,947	27,884	27,988	27,920
Gesamtlänge F-K4	28,043	27,856	27,983	27,892	27,831	27,938	27,845	27,880	27,978
Veränderung (in mm)									
La 2 : La 1	+0,037	+0,021	+0,013	+0,012	+0,008	+0,026	+0,002	+0,001	+0,002
L 2 : L 1	+0,029	+0,041	+0,037	+0,044	+0,014	+0,021	+0,029	+0,011	+0,019
La 3 : La 1	-0,047	-0,042	-0,073	-0,052	-0,077	-0,020	-0,044	-0,070	-0,068
L 3 : L 1	-0,033	-0,034	-0,127	-0,092	-0,031	-0,062	-0,021	-0,173	-0,045
La 4 : La 1	-0,049	-0,038	-0,062	-0,049	-0,070	-0,025	-0,037	-0,033	-0,043
L 4 : L 1	-0,037	-0,041	-0,131	-0,075	-0,032	-0,042	-0,036	-0,158	-0,021
A-E4 : A-E1	-0,047	-0,035	-0,068	-0,046	-0,064	-0,028	-0,042	-0,050	-0,043
F-K4 : F-K1	-0,028	-0,028	-0,125	-0,080	-0,028	-0,044	-0,026	-0,167	-0,008
Veränderung (in %)									
La 2 : La 1	+0,13%	+0,07%	+0,05%	+0,04%	+0,03%	+0,09%	+0,01%	+0,00%	+0,01%
L 2 : L 1	+0,10%	+0,15%	+0,13%	+0,16%	+0,05%	+0,08%	+0,10%	+0,04%	+0,07%
La 3 : La 1	-0,17%	-0,15%	-0,26%	-0,19%	-0,27%	-0,07%	-0,16%	-0,26%	-0,24%
L 3 : L 1	-0,12%	-0,12%	-0,45%	-0,33%	-0,11%	-0,22%	-0,08%	-0,62%	-0,16%
La 4 : La 1	-0,18%	-0,14%	-0,22%	-0,17%	-0,25%	-0,09%	-0,13%	-0,12%	-0,15%
L 4 : L 1	-0,13%	-0,15%	-0,47%	-0,27%	-0,11%	-0,15%	-0,13%	-0,56%	-0,07%
A-E4 : A-E1	-0,17%	-0,12%	-0,24%	-0,16%	-0,23%	-0,10%	-0,15%	-0,18%	-0,15%
F-K4 : F-K1	-0,10%	-0,10%	-0,44%	-0,29%	-0,10%	-0,16%	-0,09%	-0,59%	-0,03%

Abb. 19. Ergebnis-Tabelle der 3. Versuchsserie.



4.Serie
30/M13/23

Meßwerte in Millimeter

Einbettmasse	E316		Duro		Róco	
Testlötung	Nr.1		Nr.2		Nr.3	
1.Messung (Brücke fixiert) Gesamtlänge A-E1	37,697		37,693		37,827	
Entfernung L 1	28,673		28,890		28,655	
2.Messung (Brücke eingebettet) Entfernung L 2	28,708		28,906		28,663	
3.Messung (Brücke gelötet) Entfernung L 3	28,603		28,801		28,649	
4.Messung (Brücke abgesäuert) Entfernung L 4	28,617		28,796		28,647	
Gesamtlänge A-E4	37,620		37,616		37,817	
Veränderung (in mm)						
L2 : L1	+0,035		+0,016		+0,008	
L3 : L1	-0,070		-0,089		-0,006	
L4 : L1	-0,056		-0,094		-0,008	
AE4 : AE1	-0,077		-0,077		-0,010	
Veränderung (in %)						
L2 : L1	+0,12%		+0,06%		+0,03%	
L3 : L1	-0,24%		-0,27%		-0,02%	
L4 : L1	-0,20%		-0,33%		-0,03%	
AE4 : AE1	-0,20%		-0,20%		-0,03%	

Abb. 20. Ergebnis-Tabelle der 4. Versuchsserie.

Wie die vorgenommenen Messungen nach jedem Arbeitsgang des Lötprozeß-Komplexes beweisen, konnte bei den Testbrücken aller Versuchsserien ein ganz bestimmtes Dimensionsverhalten beobachtet werden.

Unabhängig von der jeweils verwendeten Einbettungsmasse trat nach dem Einbetten jeder Versuchsbrücke eine durch die Abbindeexpansion der Einbettungsmasse hervorgerufene Verlängerung der Testbrücken-Meßstrecken ein.

Aus der graphischen Darstellung der Mittelwerte (Abb. 21), die zur besseren Übersicht des Komplexgeschehens angefertigt wurde, ist zu ersehen, daß diese Expansion bei Verwendung der Einbettungsmasse E 316 am stärksten und bei Anwendung der Röcotherm-Löteinbettungsmasse am wenigsten in Erscheinung trat.

Die Verlötung der einzelnen Brückenteile miteinander verursachte nun eine allgemeine Kontraktion aller Versuchsbrücken. Ein mehr oder weniger großer Einfluß einer der verwendeten drei Einbettungsmassen auf diese Kontraktion der Testbrücken konnte nicht festgestellt werden.

Die Meßergebnisse nach dem Ausbetten der Brücken aus dem Lötblock und ihrem Absäuern in 10 %iger Schwefelsäure, brachten dann kaum noch eine Veränderung der nach dem Löten festgestellten Meßwerte.

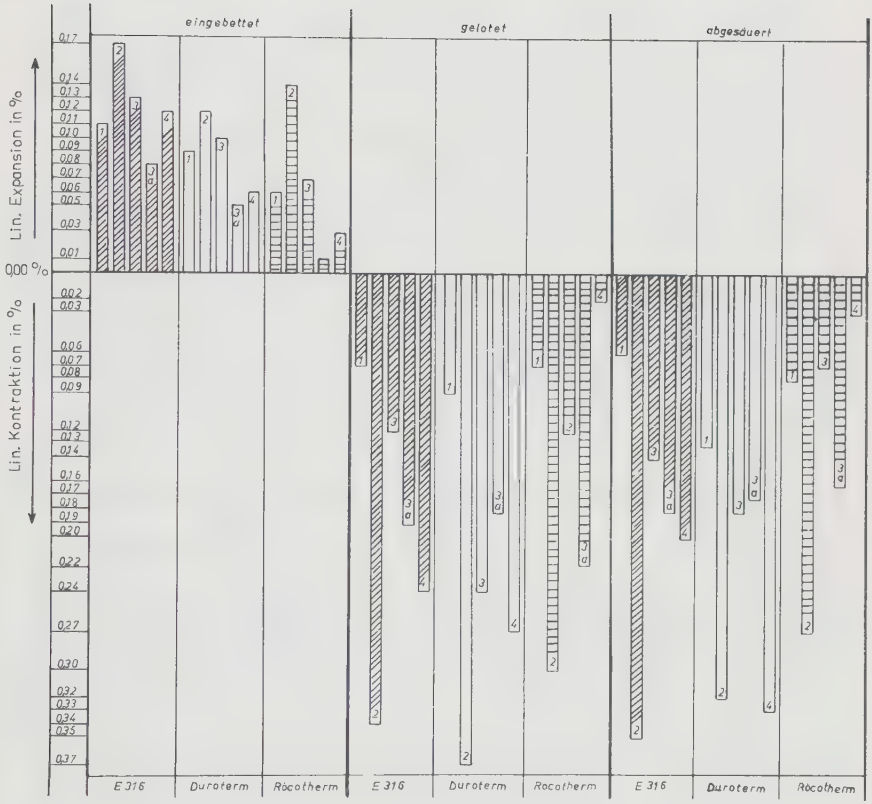


Abb. 21. Lineare Veränderungen der Versuchsbrücken (Serie 1, 2, 3 und 4) (Mittelwerte)

Bei der Betrachtung und Vergleich einer Zusammenstellung der Versuchsergebnisse aller vier Serien (s. Abb. 22), waren die stärker als normal ausfallenden Kontraktionen einzelner Versuchsbrücken nach ihrer Verlötung auffällig, so z. B. (vgl. Abb. 22): Serie 2 / Nr. 4 und Serie 3 / Nr. 8

	E316	E316	E316	Duro	Duro	Duro	Röco	Röco	Röco	
	Nr.1	Nr.2	Nr.3	Nr.4	Nr.5	Nr.6	Nr.7	Nr.8	Nr.9	
Serie 1	+0,18%	+0,08%	+0,06%	+0,15%	+0,00%	+0,12%	+0,01%	+0,14%	+0,03%	eingebettet
Serie 2	+0,22%	+0,12%	+0,17%	+0,24%	+0,01%	+0,10%	+0,11%	+0,17%	+0,59%	
Serie 3	+0,10%	+0,15%	+0,13%	+0,16%	+0,05%	+0,08%	+0,10%	+0,04%	+0,07%	
3a	+0,13%	+0,07%	+0,05%	+0,04%	+0,03%	+0,09%	+0,01%	+0,00%	+0,01%	
Serie 4	+0,12%			+0,06%			+0,03%			
Serie 5	+0,27%	+0,14%	+0,17%	+0,16%	+0,07%	+0,23%	+0,18%	+0,04%	+0,04%	
Serie 1	-0,19%	-0,00%	-0,03%	-0,03%	-0,22%	-0,02%	-0,08%	-0,12%	-0,02%	geölet
Serie 2	-0,32%	-0,37%	-0,34%	-0,48%	-0,34%	-0,28%	-0,27%	-0,25%	-0,38%	
Serie 3	-0,12%	-0,12%	-0,45%	-0,33%	-0,11%	-0,29%	-0,08%	-0,62%	-0,16%	
3a	-0,17%	-0,15%	-0,26%	-0,19%	-0,27%	-0,07%	-0,16%	-0,26%	-0,24%	
Serie 4	-0,24%			-0,27%			-0,02%			
Serie 5	-0,20%	-0,23%	-0,24%	-0,50%	-0,41%	-0,42%	-0,73%	-0,52%	-0,58%	
Serie 1	-0,14%	-0,00%	-0,05%	-0,03%	-0,23%	-0,12%	-0,01%	-0,21%	-0,01%	abgesäuert
Serie 2	-0,35%	-0,40%	-0,31%	-0,34%	-0,40%	-0,21%	-0,25%	-0,17%	-0,39%	
Serie 3	-0,13%	-0,15%	-0,47%	-0,27%	-0,11%	-0,15%	-0,13%	-0,56%	-0,01%	
3a	-0,18%	-0,14%	-0,22%	-0,17%	-0,25%	-0,09%	-0,13%	-0,22%	-0,12%	
Serie 4	-0,20%			-0,33%			-0,03%			
Serie 5	-0,13%	-0,24%	-0,19%	-0,54%	-0,45%	-0,38%	-0,71%	-0,59%	-0,60%	

Abb. 22. Zusammenstellung der Versuchsergebnisse

Die Überlegung, daß vielleicht ein breiterer Lötspalt diese verstärkte Kontraktion bewirkt haben könnte, führte zu der Aufnahme einer weiteren Versuchsserie (vgl. Seite 21), der Serie 5, deren End-Meßergebnisse ebenfalls schon in der Abbildung 22 angegeben sind.

In der Versuchsserie 5 wurden in der Form gleiche Brückenteile ver-

wendet wie in der 2. Serie, nur mit dem Unterschied, daß diesesmal von dem in Serie 2 10,0 mm langen Zwischenglied, beide Approximalflächen mit einem Schleifstein beschliffen und dadurch das Zwischenglied um insgesamt 2 Millimeter gekürzt wurde.

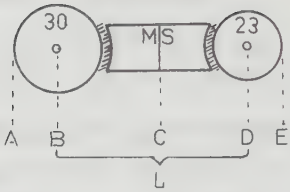
Durch diese Verkürzung des Brückenkörpers wurde bei der Fixierung der Brückenteile mit Klebewachs auf dem Grundmodell A, eine Verbreiterung der Lötstellen Krone (30 mm Umfang) - Zwischenglied und Zwischenglied - Krone (23 mm Umfang) auf je 1,0 mm erreicht.

Die Verlötung der Brückenteile in dieser 5. Serie habe ich in der gleichen Art wie in den Serien 1 - 4 durchgeführt. Es wurden also in den verbreiterten Lötspalt, wie sonst in solchen Fällen üblich, keine Goldblechstückchen zum Verengen des Spaltes eingelegt, sondern die Vereinigung der Brückenteile erfolgte direkt nur durch das Lot.

Die Meßergebnistabelle der 5. Serie (Abb. 23) beweist die Richtigkeit der erwähnten Annahme:

In dem Abschnitt "Veränderung in %" der Tabelle, zeigen die Meßergebnisse der Testlötungen Nr. 4 bis Nr. 9 eine Kontraktion der Brücken, nach abgeschlossener Lötung, zwischen 0,41% und 0,73%.

Bei den mit Hilfe der Einbettungsmasse E 316 verlöteten Brücken (Testlötung Nr. 1 bis Nr. 3) traten hingegen keine verstärkten Kontraktionen auf. Die Meßergebnisse nach Verlötung dieser Versuchsbrücken lagen bei - 0,20% und - 0,24%.



5. Serie
30/MS/23

	Einbettmasse	E316	E316	E316	Duro	Duro	Duro	Röco	Röco	Röco
	Testlötung	Nr.1	Nr.2	Nr.3	Nr.4	Nr.5	Nr.6	Nr.7	Nr.8	Nr.9
Meßwerte in Millimeter	1.Messung (Brücke fixiert) Gesamtlänge A-E1	28,480	28,593	28,418	28,407	28,608	28,521	28,633	28,400	28,625
	Entfernung L 1	19,480	19,558	19,429	19,455	19,671	19,370	19,656	19,819	19,462
	2.Messung (Brücke eingebettet) Entfernung L 2	19,556	19,596	19,479	19,500	19,692	19,435	19,709	19,830	19,474
	3.Messung (Brücke gelötet) Entfernung L 3	19,422	19,492	19,361	19,311	19,552	19,250	19,446	19,672	19,295
	4.Messung (Brücke abgesäuert) Entfernung L 4	19,443	19,488	19,373	19,300	19,541	19,260	19,453	19,652	19,291
	Gesamtlänge A-E4	28,450	28,537	28,378	28,266	28,481	28,395	28,428	28,257	28,457
	Veränderung (in mm)									
	L2 : L1	+0,076	+0,039	+0,050	+0,045	+0,021	+0,065	+0,053	+0,011	+0,012
	L3 : L1	-0,058	-0,066	-0,068	-0,144	-0,119	-0,120	-0,210	-0,147	-0,167
	L4 : L1	-0,037	-0,070	-0,056	-0,155	-0,130	-0,110	-0,203	-0,167	-0,171
	AE4 : AE1	-0,030	-0,056	-0,040	-0,141	-0,127	-0,126	-0,205	-0,143	-0,168
	Veränderung (in %)									
	L2 : L1	+0,27%	+0,14%	+0,17%	+0,16%	+0,07%	+0,23%	+0,18%	+0,04%	+0,04%
	L3 : L1	-0,20%	-0,23%	-0,24%	-0,50%	-0,41%	-0,42%	-0,73%	-0,52%	-0,58%
	L4 : L1	-0,13%	-0,24%	-0,19%	-0,54%	-0,45%	-0,38%	-0,71%	-0,59%	-0,60%
	AE4 : AE1	-0,11%	-0,14%	-0,14%	-0,50%	-0,44%	-0,44%	-0,71%	-0,50%	-0,59%

Abb. 23. Ergebnis-Tabelle der 5. Versuchsserie.

10. Diskussion

Die Ergebnisse der in den vorangegangenen Abschnitten dargestellten Untersuchungen über Dimensionsveränderungen, die durch den Lötprozeß an Edelmetallbrücken auftreten, sollen in diesem Abschnitt erörtert und einander gegenübergestellt werden.

Das Vorhandensein und die Kenntnis dieser Dimensionsveränderungen ist für die technische Herstellung des festsitzenden Zahnersatzes und darüber hinaus auch klinisch bedeutungsvoll.

Das Bestreben geht dahin, eine größtmögliche Paßgenauigkeit des angefertigten Zahnersatzes zu erreichen. Jeder an der Herstellung dieses Zahnersatzes beteiligte Praktiker muß deshalb über die Zusammensetzung und das Verhalten der einzelnen verwendeten Materialien genau informiert sein. Von allen Faktoren,die den Lötprozeß beeinflussen, spielt das Verhalten der Einbettungsmassen eine entscheidende Rolle, da die Verlötung von Brückenteilen nur mit Hilfe dieser Materialien möglich ist.

Jede lineare Veränderung der angewandten Einbettungsmasse muß zwangsläufig zu sekundären Folgeerscheinungen an den zu verlötenden Brückenteilen und letzthin an der Brücke als Ganzes führen.

Durch die erste Versuchsreihe sollte festgestellt werden, ob die Abbindeexpansion der Einbettungsmassen die Lagebeziehung der einzelnen Brückenteile zueinander in größerem Ausmaße verändern kann.

Die Auswertung der Untersuchungsergebnisse zeigt, daß durch die Abbindeexpansion der Einbettungsmassen eine Veränderung der Lagebeziehung der einzelnen Brückenteile zueinander im Sinne einer Expansion eintritt.

Die Größenordnung dieser Veränderung ist in der Mittelwerttabelle (Abb. 24), die zur besseren Übersicht angefertigt wurde, angegeben.

Aus dieser Tabelle ist zu ersehen, daß die Brückenteile der verschiedenen Versuchsserien bei Anwendung der Einbettungsmasse F 316 um

0,08% bis 0,19% in ihrer linearen Dimension expandieren. Die Abbindeexpansionswerte der in Duroterm-Einbettungsmasse eingebetteten Brückenteile liegen zwischen 0,05 % lin. und 0,15 % lin. und die der Röcotherm-Löteinbettmasse zwischen 0,01 % lin. und 0,09 % lin.

Die eingebetteten Brückenteile werden also - bedingt durch die Abbindeexpansion der Einbettungsmassen - einer geringfügigen Lageveränderung unterworfen.

MITTELWERTTABELLE				
	E 316	Duroterm	Röcotherm	
Serie 1	+0,11%	+0,09%	+0,06%	eingebettet
Serie 2	+0,17%	+0,12%	+0,14%	
Serie 3	+0,13%	+0,10%	+0,07%	
3a	+0,08%	+0,05%	+0,01%	
Serie 4	+0,12%	+0,06%	+0,03%	
Serie 5	+0,19%	+0,15%	+0,09%	
Serie 1	-0,07%	-0,09%	-0,07%	gelötet
Serie 2	-0,34%	-0,37%	-0,30%	
Serie 3	-0,12%	-0,24%	-0,12%	
3a	-0,19%	-0,18%	-0,22%	
Serie 4	-0,24%	-0,27%	-0,02%	
Serie 5	-0,22%	-0,44%	-0,61%	
Serie 1	-0,06%	-0,13%	-0,08%	abgesäuert
Serie 2	-0,35%	-0,32%	-0,27%	
Serie 3	-0,14%	-0,18%	-0,07%	
3a	-0,18%	-0,17%	-0,16%	
Serie 4	-0,20%	-0,33%	-0,03%	
Serie 5	-0,19%	-0,46%	-0,63%	

Abb. 24. Mittelwerte der auf Abb. 22 zusammengestellten Versuchsergebnisse. (Die prozentualen Werte beziehen sich auf die Dimensionsveränderungen der Brücken).

Diese Versuchsergebnisse bestätigen also auch indirekt die von den oben genannten Autoren angegebenen prozentualen Abbindeexpansionswerte der Einbettungsmassen. (Siehe S. 13).

Durch weitere Messungen sollte geklärt werden, ob das unterschiedliche thermische Expansionsverhalten der Einbettungsmassen - nachgewiesen durch die Voruntersuchungen - irgendeinen Einfluß auf die nach dem Verlöten festgestellte Dimension einer Brücke besitzt.

Die Voruntersuchungen über das thermische Expansionsverhalten der Einbettungsmassen waren für die anschließend folgenden Hauptversuche der Verlötung von Edelmetall-Brückenteilen von Interesse.

Nach den Ergebnissen dieser Voruntersuchungen konnte theoretisch erwartet werden, daß die unterschiedliche thermische Expansion bei den einzelnen Einbettungsmassen (siehe Abb. 7) auch zu unterschiedlichen Resultaten in den Enddimensionen der Testbrücken führen würde. Diese Erwartung wurde durch meine Untersuchungen jedoch nicht bestätigt.

Wie die Messungen der Versuchsserien 1, 2, 3 und 4 ausweisen (siehe Tabellen 17 - 20 und Abb. 21), ist letztlich - trotz unterschiedlicher thermischer Expansionswerte der verwendeten Einbettungsmassen - in allen Versuchsreihen eine annähernd gleichmäßige Dimensionsveränderung im Sinne einer linearen K o n t r a k t i o n der Testbrücken festzustellen.

Die Ursache dieser gleichmäßigen Verkürzung der Testbrücken konnte nicht geklärt werden, da die Veränderungen der Lagebeziehungen der im Lötblock eingebetteten Brückenteile <u>während</u> des Erhitzens durch die angewandte Versuchsanordnung nicht kontrolliert werden konnte.

Entscheidend für die Paßgenauigkeit einer Brückenarbeit ist der <u>nach</u> dem Verlöten gegebene Zustand (Dimension der Brücke) !

So ist die Frage zu klären, ob die durch den Lötprozeß hervorgerufene

Dimensionsveränderung klinisch bedeutungsvoll ist.

Die gefundenen durchschnittlichen Kontraktionswerte lagen in allen vier Testserien, also unabhängig von der Form der jeweiligen Versuchsbrücke, bei 0,19 % linear. In Millimeter angegeben bedeutet diese Prozentzahl einen Wert von ca. 0,039 mm.

Nach den Untersuchungen von MÜHLEMANN ((19) (20)) beträgt die horizontale physiologische Beweglichkeit der Frontzähne von Erwachsenen 0,025 bis 0,030 Millimeter. Die Beweglichkeitsmessung von Praemolaren ergab Werte zwischen 0,013 und 0,025 Millimeter. Wenn auch für die physiologische Beweglichkeit der Molaren noch keine festen Werte angegeben sind und man deshalb mit einem ungefähren Beweglichkeitswert von 0,015 Millimeter rechnen müßte, so kann die durch den Lötprozeß hervorgerufene, durch die meßmikroskopischen Untersuchungen bewiesene Kontraktion, die Paßgenauigkeit des Brücken-Zahnersatzes nicht sehr stark beeinflussen. In technischer Hinsicht haben die Versuchsergebnisse gezeigt, daß es für die Paßgenauigkeit einer Brücke auch gleichgültig ist, ob zur Verlötung der Brückenteile eine hochexpandierende oder eine spezielle Löteinbettmasse mit geringerer thermischer Expansion verwendet wird.

Eine einfache Löteinbettmasse genügt den Erfordernissen vollkommen und ist darüberhinaus sogar den anderen Einbettungsmassen vorzuziehen, da sie noch zwei Vorteile bietet: Durch ihre größere Porosität erfolgt die Erwärmung der eingebetteten Brückenteile besser und schneller und ihr Preis liegt erheblich unter dem der anderen Einbettungsmassen.

Bei den Versuchen der vier Testserien wurden in einzelnen Fällen Werte ermittelt, die stärker als normal von den gefundenen Kontraktionsresultaten abwichen. Um die mögliche Ursache dieser Extremwerte zu klären, wurde noch eine 5. Versuchsserie durchgeführt.

In der Annahme, daß vielleicht ein fehlerhaft verursachter verbreiterter Lötspalt diese verstärkte Kontraktion der Testbrücken hervorgeru-

fen haben könnte, wurde in dieser 5. Serie der Lötspalt absichtlich 1,0 mm breit gewählt. Die Meßergebnisse dieser Versuchsserie beweisen die Richtigkeit der erwähnten Annahme.

Will man die durch den Lötprozeß bewirkte Kontraktion einer Brücke von durchschnittlich 0,19 % linear als normal betrachten, so lagen in dieser 5. Versuchsserie die Kontraktionswerte bei Anwendung der Einbettungsmasse Duroterm bei 0,44 % lin. und bei Gebrauch von Röcotherm-Löteinbettmasse bei 0,61 % linear.

Die mit Hilfe der Einbettungsmasse E 316 verlöteten Testbrücken kontrahierten dagegen nur um durchschnittlich 0,22 % linear (s. Abb. 24).

In dieser Testserie war es also nur der Einbettungsmasse E 316 möglich, die durch den verbreiterten Lötspalt hervorgerufene, verstärkte Kontraktion der Testbrücken auszugleichen.

Wenn auch dieser Versuch zeigt, daß in solchen Extremfällen die Anwendung einer hochexpandierenden Einbettungsmasse von Vorteil ist, so soll diese Erwägung aber nur theoretisch sein.

Wie es auch EGLI und FISCHER forderten, ist aus metallurgischen Gründen die Wahl einer günstigen Lötspaltbreite unbedingt zu beachten. D.h. die einzelnen zur Verlötung miteinander bestimmten Brückenteile müssen schon so genau vorgeformt sein, daß für die Verlötung eine möglichst innige, aber andererseits auch nicht zu feste Berührung der miteinander zu verlötenden Flächen gewährleistet ist. Bei Nichtbeachtung dieser Forderung kann die durch den Lötprozeß bewirkte Kontraktion einer Brücke Werte um 0,20 Millimeter (= 0,61 % lin.) erreichen und somit die Paßgenauigkeit des Zahnersatzes im Munde in Frage stellen.

11. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden die Einwirkungen, die der Lötprozeß in einem komplexen Geschehen auf die Paßgenauigkeit einer Edelmetallbrücke ausüben kann, experimentell untersucht und meßmikroskopisch kontrolliert.

Innerhalb eines weitgehend genormten und praxisnahen Verfahrens für die Herstellung und Verlötung der stilisierten Brückenteile aus Degulor M - Zahngold der Firma Degussa, fand auch die Wahl der Einbettungsmasse besondere Berücksichtigung.

In Voruntersuchungen wurde die thermische Expansion der für die Lötversuche verwendeten drei Einbettungsmassen E 316, Duroterm und Röcotherm-Löteinbettmasse geprüft. Für die Anfertigung der einzelnen Testbrückenkronen dienten stilisierte Kronenstumpfmodelle und für die Herstellung der Brückenkörper wurde ebenfalls eine Grundform geschaffen. Um die Veränderungen von Brücken während des Lötprozesses zu beobachten und gegeneinander zu vergleichen, wurden innerhalb von fünf Testserien insgesamt 39 stilisierte Versuchsbrücken angefertigt, verlötet und auf ihr lineares Dimensionsverhalten geprüft.

Die einzelnen Brücken wurden mittels eines optischen Meßverfahrens in ihren linearen Dimensionen ausgemessen. Jede Brücke wurde, innerhalb aller zum Lötvorgang gehörenden Arbeitsgänge, viermal vermessen. Jede dieser Messungen wurde zu Kontrollzwecken dreimal wiederholt.

Aus dem Vergleich dieser Messungen der jeweiligen Versuchsbrücke mit den Dimensionen der Ausgangsmessung, ergaben sich die Dimensionsveränderungen derselben.

Durch diese Untersuchungen konnte festgestellt werden :

1. Eine für prothetische Zwecke angefertigte Edelmetallbrücke wird,

im Verlauf der für die Verlötung der einzelnen Brückenteile nötigen Arbeitsgänge, in ihren linearen Dimensionen verändert.

2. Diese Veränderung ist eine Kontraktion.
3. Jede Brücke, gleich welcher Konstruktionsform, erleidet durch den Lötprozeß eine durchschnittliche Kontraktion von 0,19 % linear.
4. Bei der Verlötung von Brückengliedern mit einander berührenden Lötflächen spielt das Expansionsvermögen der Einbettungsmasse keine Rolle.
   Auf Grund ihrer größeren Porosität (bessere und schnellere Erwärmung der eingebetteten Brückenteile) ist eine spezielle Löteinbettmasse zu bevorzugen.
5. Eine Vergrößerung des Lötspaltes zwischen den einzelnen Brückengliedern kann die festgestellte Kontraktion bis zu 0,61 % linear erhöhen.

Literaturverzeichnis

1) Cosmann, H.: Zum Verständnis der thermischen Expansion von Gußeinbettungsmassen. Vjhrschr. Zahnheilkunde, S. 48-73, 1934

2) Degussa : Über das Löten von mundbeständigem Stahl. Degussa , Frankfurt.

3) Dreyer, K.: Grundbegriffe der Metallographie. Zahnärztl. Rdsch., Nr. 13, Sp. 532, 1935

4) Egli, A.: Die Lotnaht. Schw. Mschr. Zhlkde., H. 7, S. 696, 1939

5) Elbrecht, A.: Über Löten und Lötmassen. Dtsch. zahnärztl. Wochschr., H. 29, S. 699, 1938

6) Endell, K., Hoffmann, U.: Über vergleichende röntgenoptische und dilatometrische Untersuchungen an Einbettungsmassen. Zahnärztl. Rdsch., Nr. 37, Sp. 1478, 1934

7) Falck, K.: Einführung in die Werkstoffkunde für Zahnärzte. Karl Hauser Verlag München, S. 103, 1948

8) Falck, K.: Werkstoffkunde für Zahnärzte. J. F. Lehmann Verlag München, S. 95, 1937

9) Fenner, K.: Metallographische Untersuchungen am Richmondgestell. Schw. Mschr. Zhlkde., H. 2, 1944

10) Fischer, E.: Vorgänge und Festigkeiten beim Hartlöten. V. D. I. Verlag, Berlin 1939.

11) Fischer, C.H., Franke, K.: Vergleichende Untersuchungen über das Dimensionsverhalten von Amalgamen bei verschiedenen Meßmethoden. Dtsch. zahnärztl. Ztschr. 9, H. 7, S. 402, 1954/1.

12) Gerlach, H.: Neue deutsche Werkstoffe in der Zahnheilkunde. H. Meusser Verlag, Leipzig, S. 45, 1938.

13) Gerlach, H.: Thermovolumetrische Untersuchungen an Einbettmassen im zahnärztlichen Gußverfahren. J. A. Barth Verlag Berlin, 1935.

14) Guertler, W.: Einführung in die Metallkunde. 1. und 2. Folge, J. A. Barth Verlag Leipzig, 1943.

15) Halla, W.: Kristallchemie und Kristallphysik metallischer Werkstoffe. J. A. Barth Verlag Leipzig, 1940.

16) Ilg, V.K.: %lin und Vol%. Dtsch. zahnärztl. Ztschr. 9, H. 14, S. 802, 1954.

17) Kirsten, H.: Kronen- und Brückenersatz. Zahnärztl. Fortbldg., H. 4, 1950.

18) Loebich, O.: Über das Löten. Zahntechnik 5, H. 17, S. 196, 1952.

19) Mühlemann, H. R.: Die physiologische und pathologische Zahnbeweglichkeit. Schw. Mschr. Zhlkd., Bd. 61, H. 1, 1951.

20) Mühlemann, H. R.: 10 Years of Tooth-Mobility Measurements. Journal of Periodontology, Vol. 31, S. 110-122, April 1960.

21) Nehse, A.: Metallographische Untersuchungen über den Lötvorgang bei Spargolegierungen. Inaug. Diss. Leipzig 1947.

22) Oeschger, H. X.: Vergleichende Untersuchungen über das Einbetten mit im Vacuum von Luftblasen befreiter Einbettmasse. DZM, Bd. 22, S. 212, 1955.

23) Rehberg, H.-J.: Untersuchungen über eine neue Einbettmasse für den Guß hochschmelzender Legierungen. DZM, H. 5 und 6, S. 193-207, 1955.

24) Schoenbeck, F.: Zahnärztliche Werkstoffkunde. J. A. Barth Verlag Leipzig, 1942.

25) Schoenbeck, F.: Einiges über Lote.
DZW, H. 6, S. 59 - 61, 1924.

26) Schlosser, E.: Das Löten und Schweißen.
Hartlebens Verlag Leipzig,
5. Aufl., 1922.

27) Schubert, L.: Expansionsgußverfahren und Untersuchungen über ihren praktischen Wert.
Dtsch. zahnärztl. Wschr., Nr. 2,
S. 69 - 80, 1932.

28) Spreng, M.: Metallkunde für den Zahnarzt.
Appolonia Verlag Basel, S. 117.

29) Sterner-Rainer, L.: Zur Kenntnis der Metallote.
Ztschr. f. Metallkunde, August 1921.

30) Sterner-Rainer, L.: Edelmetallegierungen und Amalgame in der Zahnheilkunde.
H. Meusser Verlag Berlin, S. 54, 1930.

31) Türkheim, H., Schröder, J.: Über die räumliche Ausdehnung des Gipses. DZW, S. 249-251, 1933.

32) Uhlig, H.: Zahntechnik, H. 17/19, S. 193, 1952.

33) Ziebe, H.: Zur Frage der Lötwirkung mit Berücksichtigung der in der Zahnheilkunde verwendeten Goldlote.
DZW, H. 14, S. 225, 1927.

Zum Abschluß der Arbeit möchte ich an dieser Stelle meinem sehr verehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. H. Kirsten für die freundliche Überlassung des Themas danken.

Herrn Dr. H. Hehring gilt ebenfalls mein Dank für seine zahlreichen Hinweise und Ratschläge.

Der Firma Degussa / Frankfurt a. M. bin ich für ihre Hilfsbereitschaft bei der Beschaffung des benötigten Edelmetalles zu großem Dank verpflichtet.

Lebenslauf

Am 14. August 1928 wurde ich als Sohn des Zahnarztes Dr. Kurt Jacob und seiner Ehefrau Maria Jacob geb. Schmidt in Berlin geboren.

Nach Besuch der 12. Volksschule bis zur 4. Klasse wurde ich Schüler der Hohenzollern-Oberschule in Berlin-Schöneberg, der ich bis zum Kriegsende angehörte.

Ab September 1945 besuchte ich die Dreilinden-Oberschule in Berlin-Wannsee und legte dort am 18. Juni 47 die Reifeprüfung ab.

Nach Abschluß einer 3 1/2jährigen Lehrzeit bestand ich am 28. März 1951 die Gesellenprüfung als Zahntechniker. Ich arbeitete in verschiedenen Laboratorien in festem Arbeitsverhältnis auch nach meiner Immatrikulation an der Freien Universität Berlin, um mein Studium finanzieren zu können, da mein Vater inzwischen gestorben war.

Das Zahnmedizinische Staatsexamen bestand ich am 27. August 1959 in Berlin.

Seitdem bin ich in einer zahnärztlichen Praxis in Berlin als Assistent tätig.

Photodruck der Photo Copie GmbH.